

УДК 678.5

Н.М. Зазимко, П.М. Малежик, Т.Г. Січкарь

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАТВЕРДІЛИХ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРІВ**Вступ**

Результати теоретичних і експериментальних досліджень показують, що в процесі формування термопластів (полікапролактаму, поліетилену, атактичного полістиролу) та полімеризації реактопластів (епоксидних компаундів) наявність постійного магнітного поля (ПМП) приводить до утворення впорядкованих надмолекулярних структур і зміни кінцевих фізико-механічних характеристик полімерів [1–7]. Зокрема, у працях [5, 7] результати досліджень показали, що залежність модуля пружності і електричного опору затверділих внаслідок напруженості ПМП зразків є нелінійною функцією і має коливальний квазіперіодичний характер. Проте в попередніх публікаціях не вивчався вплив напрямку вектора напруженості ПМП на механічні властивості реактопластів при магнітній обробці. Водночас складний нелінійний характер залежності фізичних властивостей від напруженості поля дає можливість припустити, що має існувати залежність фізичних властивостей від напрямку напруженості ПМП. При здійсненні магнітної обробки помилка у визначенні напруженості не повинна бути більшою 10 % від необхідного значення, в той час як з ряду причин технічного характеру безпосереднє вимірювання напруженості поля в зразках, що знаходяться в полі магнітних пристроїв, не забезпечує такої точності. Отже, для коректного проведення поставленого дослідження важливим етапом є аналітичне визначення параметрів постійного магнітного поля в робочій зоні магнітних пристроїв.

Постановка задачі

У даній статті передбачається із врахуванням реального розподілу напруженості ПМП в робочій зоні електромагніта вивчити пружні та міцнісні властивості зразків епоксидно-діанової смоли ЕД-16, пластифікованої дибутилфталатом (ДБФ) і затверділої завдяки поліетилен-

поліаміну (ПЕПА) при різних значеннях напруженості ПМП і кутах магнітної обробки, та дослідити ті зміни у формуванні надмолекулярної структури, які викликані впливом магнітного поля.

Визначення параметрів ПМП у робочій зоні магнітних пристроїв

Точні аналітичні залежності зв'язку між розподілом поля і магнітною характеристикою джерел (N і S) вдається отримати досить рідко [8]. В загальному випадку застосування рівнянь електромагнітного поля для розрахунку розподілу полів призводить до занадто громіздких розрахункових моделей, які не завжди можна реалізувати.

Визначення параметрів поля в деякій точці робочої зони пристрою зводиться до визначення розподілу напруженості в зоні A (рис. 1).

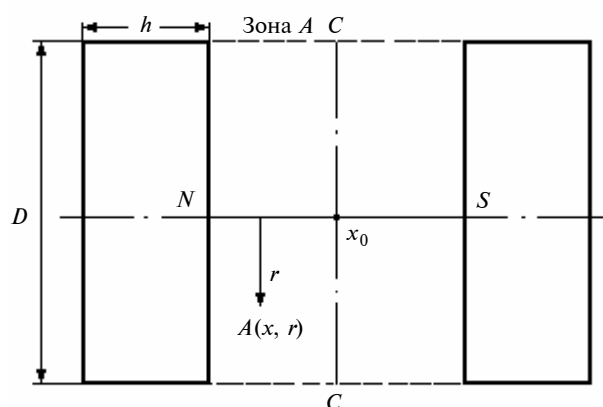


Рис. 1. Визначення параметрів поля

Припустимо, що магнітна проникність $\mu \sim 1$ є функцією координат і не залежить від напруженості магнітного поля H .

Таким чином, напруженість магнітного поля H з основного рівняння електромагнітного поля подамо в такому вигляді [9]:

$$\vec{H}(x, y, z) = -\text{grad } \Phi(x, y, z), \quad (1)$$

де скалярна функція $\Phi(x, y, z)$ за умови, що $\text{grad } \mu' = 0$, повинна задовольняти рівняння Лапласа

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0. \quad (2)$$

У розглянутій магнітній не замкнутій магнітопроводом системі аналітичне визначення

функції $\Phi(x, y, z)$ неможливе. Вигляд функції для її апроксимації знаходять з експериментального визначення розподілу поля у проміжку полюсів N і S , а також виходячи з умов (1) і (2). Характерні графіки залежності радіальної H_r і аксіальної H_x складових напруженості ПМП зображено на рис. 2.

Апроксимуючими функціями візьмемо функції виду $y = a \exp[(-bt)^2]$ для $H_x(x, r)$ і $y = ar^c \exp(-dt)$ для $H_r(x, r)$, відповідно. Запишемо

$$\begin{aligned} H_x &= H_{\max} e^{-(ax)^2 - (br)^2}, \\ H_r &= k H_{\max} c x^\alpha e^{-\beta x} \gamma, \end{aligned} \quad (3)$$

де H_{\max} — максимальне значення напруженості ПМП, що дорівнює $H_x(0,0)$; $k = \frac{(H_x)_{\max}}{(H_r)_{\max}} = \frac{H_{\max}}{(H_r)_{\max}}$; c — коефіцієнт, з допомогою якого вираз $c(x^\alpha e^{-\beta x})x = x_{\max}(r^\gamma e^{-\delta r})r = r_{\max}$ стає оди-

ницею; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ — коефіцієнти, які визначаються експериментально.

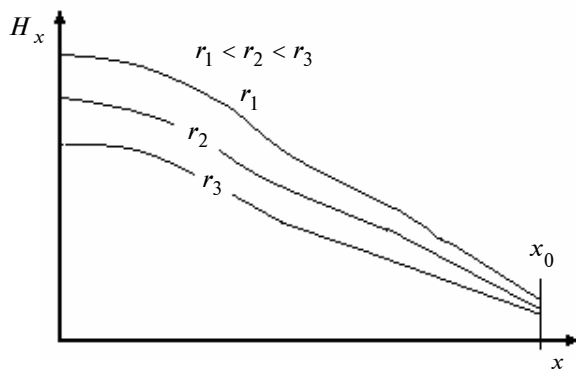
Слід сказати, що функція (3) описує розподіл поля в області, обмеженій координатою x_0 — центра симетрії системи. В іншій частині зони A (див. рис. 1) розподіл поля визначається з умови симетрії поля.

Розглянемо розподіл поля в просторі ізолюваного магнітного диска. З даних експерименту маємо

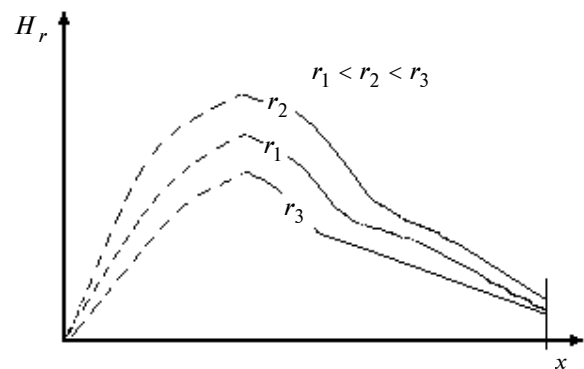
$$\begin{aligned} a &= \frac{\sqrt{2}}{h}, b = \frac{\sqrt{2}}{D}, \alpha = \gamma = 1, \beta = \frac{2}{h}, \delta = \frac{2}{D}, k = 0,5, \\ c &= \left(\frac{x_{\max} r_{\max}}{e^2} \right)^{-1} = \frac{e^2}{x_{\max} r_{\max}}, \end{aligned}$$

де h і D — відповідно товщина і діаметр диска (див. рис. 1).

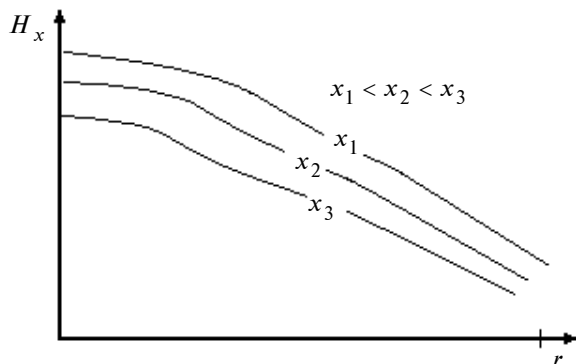
Введемо безрозмірні координати $\bar{x} = \frac{2x}{h}$, $\bar{r} = \frac{2r}{D}$. Тоді



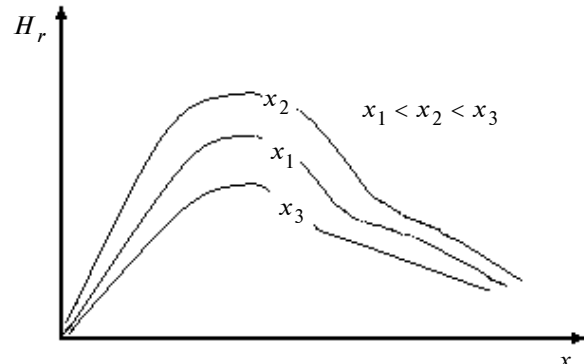
а



б



в



г

Рис. 2. Залежності $H_x(x, r)$ (а, в) і $H_r(x, r)$ (б, г)

$$H_x = H_{\max} e^{-\frac{\bar{x}^2}{2}} e^{-\frac{r^2}{2}}, \quad (4)$$

$$H_r = k H_{\max} \frac{e^2}{x_{\max} r_{\max}} x_{\max} \bar{x} r_{\max} \bar{r} e^{-\bar{x}} e^{-\bar{r}}$$

або

$$H_r = k H_{\max} \bar{x} \bar{r} e^{1-\bar{x}} e^{1-\bar{r}}.$$

Отримані співвідношення (4) дають можливість визначити аксіальну і радіальну компоненти вектора \mathbf{H} , а значить, і його величину. Для даного випадку коефіцієнти β і δ відрізняються між собою з точністю до сталого множника, а $\alpha = \gamma = 1$.

Слід відзначити, що похибка формул (4) складається з похибок апроксимації і вимірювального приладу. Похибки апроксимації визначаються різницею між величиною напруженості в конкретних координатах (рис. 3, а) і відповідною величиною, визначеною експериментально (рис. 3, б). Похибка приладу ИМИ-3 становить $\delta H = (3 + 100/H) \%$.

Як зазначалось раніше, визначення наведеної зовнішнім ПМП на поверхні і всередині феромагнітних зразків індукції магнітного поля пов'язане із значними технічними труднощами. Тому пропонується теоретичний метод розрахунку дає реальну можливість оцінити індукцію у феромагнетику.

Якщо феромагнітний зразок заданої геометрії перебуває в однорідному магнітному полі, яке не викликає насичення, то для розв'язання задачі можна застосувати метод вторинних джерел (зв'язаних струмів) [9]. В такому

випадку будемо вважати, що зовнішнє поле з напруженістю H_{\max} є осесиметричним, зразок має осьову симетрію, а магнітна проникність μ постійна по об'єму зразка. При використанні цього методу кусково-неоднорідне середовище замінимо однорідним (з однорідністю μ_0). Крім того, на межі утворення середовищ введемо векторні джерела (струмовий шар). У прийнятих припущеннях хід ліній вектора поверхневих струмів δ відомий, а силу струму знайдемо за допомогою скалярних інтегральних рівнянь, складених відносно осової різниці скалярних магнітних потенціалів [10]. Відповідно до цього інтегральне рівняння Фредгольма другого роду матиме вигляд

$$\delta_{(z)} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \int_{Z_{li}}^{Z_{2i}} K_i(z, l) \delta(l) dl = f_0(z), \quad (5)$$

де m — число частин розбиття осесиметричного зразка; $\lambda_i = \frac{\mu_i - 1}{\mu_i} \cong 1$ — характеристичне число

інтегрального рівняння; Z, l — координати відповідних точок спостереження і витoku; $f_0(z) = \lambda H_{\max}(z)$ (при $\lambda = \lambda_i$ на i -й ділянці).

Інтегральне рівняння (5) будемо розв'язувати наближеним методом колокації із застосуванням кусково-лінійної апроксимації $\delta(z)$.

Визначимо коефіцієнти лінійної алгебричної системи рівнянь на i -й ділянці:

$$K_i = \int_{Z_1}^{Z_{i+1}} K(z, l) dl =$$

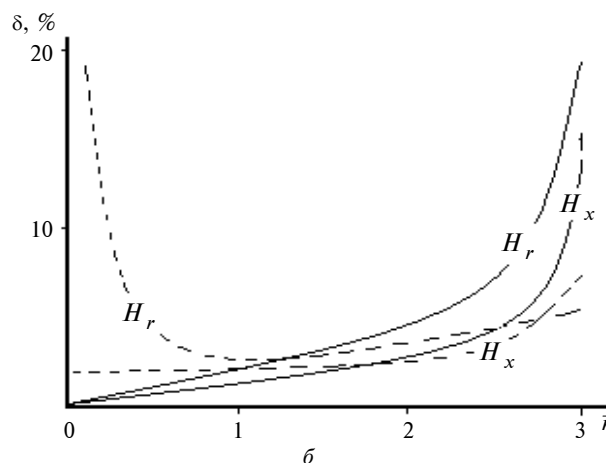
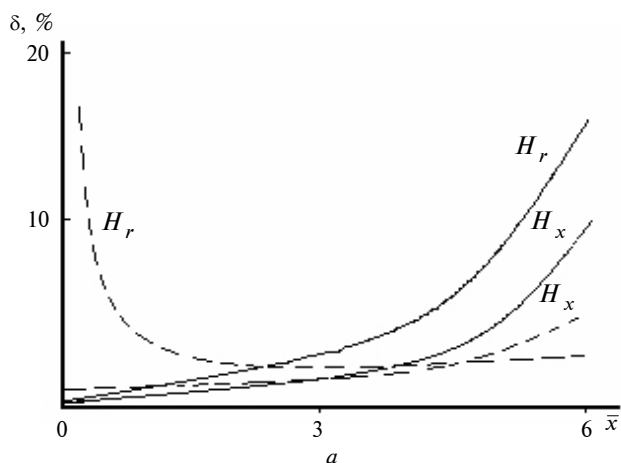


Рис. 3. Похибки апроксимації (суцільна крива) і вимірювання (штрихова крива)

$$= 0,5 \left[\frac{z - z_i}{[R^2 + (z - z_i)^2]^{0,5}} - \frac{z - z_i}{[R^2 + (z - z_{i+1})^2]^{0,5}} \right], \quad (6)$$

де z_i і z_{i+1} – початок і кінець i -ї ділянки;

$z = \frac{z_i + z_{i+1}}{2}$ – точка колокації; R – радіус осесиметричного зразка.

Таким чином, для кожної точки колокації визначимо масив $\{K_i\}$. Далі знайдемо функцію $\delta(z)$, використавши розв'язок системи алгебричних рівнянь виду

$$\delta_\gamma - \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{2} K_i = f_0(z_\gamma) = H_{\max}, \quad (7)$$

де γ – індекс точки колокації; $\delta_\gamma = \frac{\delta_i + \delta_{i+1}}{2} = \delta_i$.

Використаємо співвідношення [9]

$$\frac{B_z}{B_0} = \frac{K}{2\pi\sqrt{B}} \left[K_{(K^2)} - \frac{1-a^2-b^2}{a^2+(1-b)^2} E_{(K^2)} \right] = \frac{\delta_i}{\delta_1}, \quad (8)$$

де $K = \frac{4b}{a^2 + (1+b)^2}$; $a = \frac{z}{R}$; $z = \frac{z_i}{2}$; $b = \frac{\rho}{\delta_1}$;

$K_{(K^2)}$ і $E_{(K^2)}$ – еліптичні інтеграли першого і другого роду. Інші позначення наведено на рис. 4.

Зразок циліндричної конфігурації умовно розбили на $I = 10$ ділянок. Вісь симетрії Z зразка збігається з напрямком вектора \mathbf{H} зовнішнього ПМП. Наведене розв'язання задачі було реалізовано за допомогою пакета MathCad, зокрема програми виконання операцій методу колокацій із використанням кусково-лінійної апроксимації.

Отже, експериментальне дослідження індукції магнітного поля, наведеної зовнішнім ПМП, показало, що при наближенні до поверхні феромагнітного зразка похибки вимірювання δ зростають і перевищують 20 %. Пропонований теоретичний метод розрахунку дає можливість оцінити індукцію в зразку заданої геометрії, тобто за допомогою отриманих співвідношень (5)–(8) можна знайти $H\rho_m$ (шукану напруженість у точці на відстані ρ_m від осі Z (рис. 4)) у кожній точці зразка. Результати розрахунку, зроблені для параметрів робочої зони електромагніта радіоспектрометра РЭ-1351,

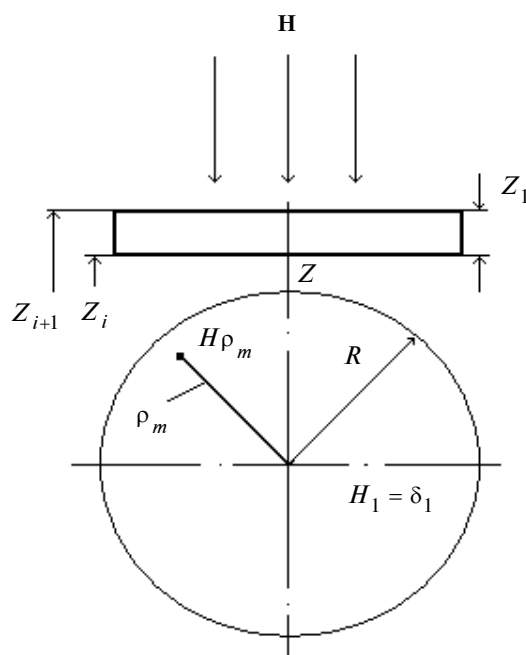


Рис. 4. Геометричні параметри для розрахунку

добре узгоджуються із значеннями $H\rho_m$, які вимірювалися на поверхні зразка. Для розподілу напруженості поля всередині зразка розходження таких значень $H\rho_m$ досягає 10–20 %.

Зразки і методика дослідження

Зразки для експериментальних досліджень (ЕД-16 – 100, ДБФ – 5, ПЕПА – 10 відносних одиниць) виготовлялися звичайним способом у ливарних фторопластових формах при однаковому значенні кута магнітної обробки ($\theta = 0^\circ$) з фіксованими напруженостями ПМП у діапазоні від 0 до $1,5 \cdot 10^5$ А/м з кроком $1,5 \cdot 10^4$ А/м. Для цього використовувався потужний електромагніт радіоспектрометра РЭ-1351. Для кожного значення напруженості виготовлялося 10 зразків. Магнітна обробка тривала для всіх робочих зразків дві години. Подальша полімеризація здійснювалася в термошафі при температурі 40°C протягом 24 год. Як показано в праці [7], більш тривала обробка майже не впливає на набуті механічні характеристики. Затвердіння контрольних зразків проходило у стандартному режимі і механічні випробування оброблених і контрольних зразків проводились теж за стандартними методиками [11]. Результати статистичної обробки наведено на рис. 5.

Аналіз залежності модуля пружності $E(H)$ і межі міцності $\sigma(H)$ від напруженості ПМП показав, що існують максимальні (пікові) і мінімальні (нульові) їх зміни порівняно з контрольними зразками, тверднення яких відбувалося без магнітної дії. Крім епоксидних полімерів, аналогічні дослідження проводилися на фенолформальдегідних, поліамідних та інших композиціях, де також виявлено подібні залежності механічних характеристик від напруженості поля під час магнітної обробки.

Нелінійний характер залежностей кінцевих властивостей полімерів від режимів магнітної обробки веде до важливих практичних висновків:

- ефективність магнітної дії на полімери нелінійно залежить від напруженості ПМП;

- максимальний ефект магнітної дії для кожного полімера проявляється при певній фіксованій напруженості поля.

Вплив кута θ магнітної обробки (рис. 6) на механічні властивості епоксидних зразків, які затвердівали при фіксованих пікових значеннях напруженості ПМП, досліджували на п'яти серіях зразків (у серії 20 зразків) для таких значень кута: 0° , $22^\circ 30'$, 45° , $67^\circ 30'$, 90° .

Зразки виготовлялись за технологією, використаною в дослідженні [7]. По завершенні полімеризації зливки розрізалися на зразки для визначення модуля пружності та межі міцності. Результати випробувань наведено в табл. 1.

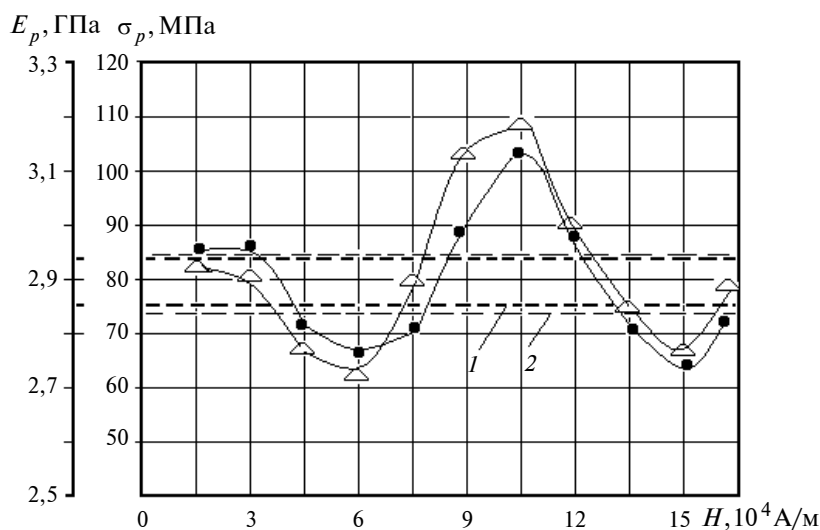


Рис. 5. Залежність модуля пружності E_p (Δ) та межі міцності σ_p (\blacksquare) від напруженості ПМП H . Штрихові криві: довірчі значення модуля пружності (1) і межі міцності (2) при випробуванні на розтяг контрольних зразків

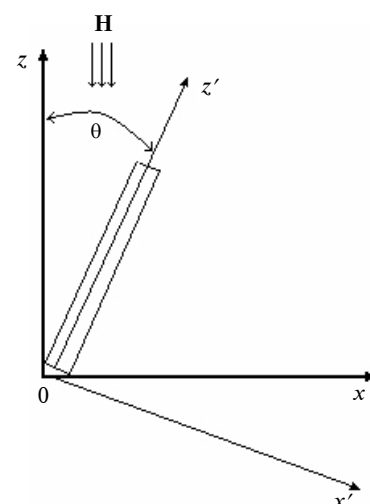


Рис. 6. Схема розміщення зразка відносно напрямку ПМП

Таблиця 1. Визначення модуля пружності та межі міцності

Напруженість ПМП H , кА/м	Кут обробки θ , град	Модуль пружності E_p , ГПа	$\Delta E/E$, %	Межа міцності σ_p , МПа	$\frac{\Delta \sigma_p}{\sigma_p}$, %
Контрольні зразки	—	2,92	0	79,5	—
105	0	3,20	+9	101	+26
"	22,5	2,67	-7	85,8	+8
"	45	2,80	-5	81,9	+3
"	67,5	2,60	-11	73,2	-8
"	90	2,55	-12,5	65,2	-18
151	0	2,66	-7	79,0	0
"	22,5	2,54	-13	74,1	-7
"	45	2,74	-6	81,0	+1,0
"	67,5	3,21	+10	91,4	+15
"	90	2,68	-8	76,3	-4

Аналіз отриманих результатів показує, що для кожного значення напруженості ПМП анізотропія має складний вигляд з осями переважного збільшення чи зменшення значень механічних властивостей. Осі анізотропії залежно від напруженості поля змінюють свою орієнтацію відносно напрямку магнітного потоку.

Дослідження змін у структуроутворенні епоксидів під впливом магнітного поля

Можна припустити, що зміна механічних властивостей пов'язана з різною топологією, яка реалізується при різних значеннях напруженості поля. Сітчасті полімери, до яких належать і поліепоксиди, утворюють глобулярні структури, розміри і щільність упакування яких визначають пружні і міцнісні властивості. Одним із напрямків визначення якісної сторони процесу, викликаного магнітною обробкою, є вимірювання об'ємного електричного опору полімера під час полімеризації [4].

У даній статті досліджувався вплив ПМП на процес твердіння епоксидного компаунда — ЕД-16 (100 відн. од.) + поліетиленполіамін (ПЕПА) (10 відн. од.). Процес твердіння здійснювався холодним способом. Об'ємний електричний опір r_v вимірювався за допомогою тераметра МОМ-7. Комірки для вимірювання виготовлялися із фторопласту з вмонтованими латунними електродами. Твердіння олігомера в контрольних комірках відбувалося одночасно з робочими, але без дії магнітного поля. Робочі комірки розташовувалися між полюсами електромагніта у двох положеннях: паралельний або нормальний до силових ліній ПМП площині електродів. Вимірювання об'ємного електричного опору здійснювалося через певні проміжки часу, одночасно в контрольній і робочій комірках, в полях з фіксованими значеннями напруженості: $20 \cdot 10^3$, $60 \cdot 10^3$, $90 \cdot 10^3$, $100 \cdot 10^3$ А/м (табл. 2). На рис. 7 зображено залежності об'ємного електричного опору від часу для напруженості $100 \cdot 10^3$ А/м. Найбільш помітно ефект впливу магнітного поля на об'ємний електричний опір починає проявлятися при напруженості, більшій за $60 \cdot 10^3$ А/м.

Аналіз результатів експерименту показав, що епоксидний полімер, який затверднув у ПМП, стає анізотропним не тільки відносно пружних характеристик, але й відносно електричних. Орієнтація макромолекул зростає із збільшенням часу обробки. При різних значен-

нях напруженості однорідного ПМП орієнтація має різний напрямок відносно силових ліній магнітного поля. Це можна пояснити залежністю геометричної форми молекулярних утворень від напруженості поля. Одержані дані свідчать про те, що напрямок осей анізотропії полімеру є досить складною функцією напруженості магнітного поля. Отже, ПМП впливає на кінетику полімеризації епоксидного полімера, причому залежність електричного опору від напруженості ПМП має нелінійний характер (див. рис. 7). Тимчасовий електричний опір полімера в напрямку, що збігається з вектором поля, істотно не змінюється відносно контрольних зразків.

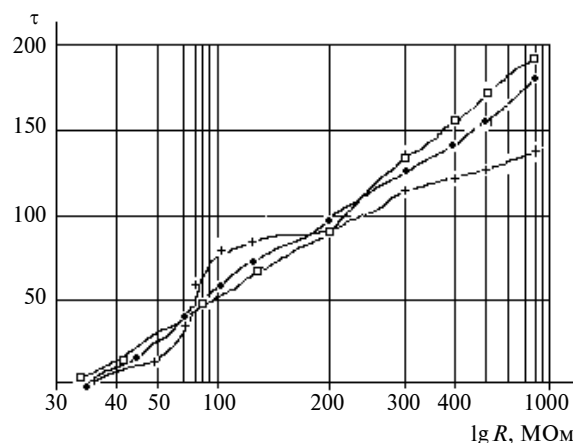


Рис. 7. Залежність об'ємного електричного опору від часу

Значні зміни спостерігаються в напрямку по нормалі до вектора поля. Слід сказати, що на початку процесу твердіння ($t = 30\text{--}60$ хв) електричний опір полімеру зменшується порівняно з контрольним, далі він нелінійно зростає і в кінці процесу перевищує опір контрольних зразків на три–чотири порядки. У напрямку вектора поля деякий час ($t = 120$ хв) електричний опір істотно не змінюється порівняно з контрольним зразком, хоч надалі він дещо збільшується.

Отримані результати показують, що процеси полімеризації у напрямку вектора ПМП і нормального до нього відрізняються один від одного. Все сказане дає змогу зробити висновок, що зниження електричного опору нормальному напрямку на початку реакції свідчить про інтенсивне утворення і переміщення іонних утворень, які з'являються в епоксидному олігомері внаслідок розриву епоксидних α -груп макромолекул. Завдяки цьому в даному напрям-

Таблиця 2. Вимірювання об'ємного електричного опору

Напруженість поля H , А/м	Напрямок поля	Об'ємний електричний опір r_v , 10^6 Ом				
		t , хв				
		0	60	120	240	300
$20 \cdot 10^3$	$\perp \mathbf{H}$	33	128	348	2000	3150
	$\parallel \mathbf{H}$	40	100	290	1300	2000
	\mathbf{H}_n	32	78	210	1000	1500
$60 \cdot 10^3$	$\perp \mathbf{H}$	31	90	310	2500	8000
	$\parallel \mathbf{H}$	36	88	250	1450	2300
	\mathbf{H}_n	35	80	220	1150	1600
$90 \cdot 10^3$	$\perp \mathbf{H}$	42	100	320	6150	$23 \cdot 10^3$
	$\parallel \mathbf{H}$	44	115	300	1500	3600
	\mathbf{H}_n	41	95	240	1150	2500
$100 \cdot 10^3$	$\perp \mathbf{H}$	40	73	270	$3,5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$
	$\parallel \mathbf{H}$	37	84	225	2650	$2,2 \cdot 10^4$
	\mathbf{H}_n	35	79	210	1250	2600

ку в першу чергу ініціюються реакції полімеризації. Зростання об'ємного електричного опору в напрямку вектора ПМП є наслідком впливу швидкості полімеризації в нормальному напрямку. Помітне зменшення електричного опору в нормальному напрямку при $t \geq 140$ викликає деяке збільшення електричного опору в напрямку вектора ПМП. Подібне збільшення спостерігається протягом всього процесу полімеризації (див. табл. 2).

Інтерпретацію залежності можна провести, використовуючи відомі уявлення про процеси ланцюгової реакції. Згідно з цими уявленнями реакції зшивання полімерів в об'ємі олігомера поширюються у вигляді фронту, який характеризується інтенсивністю процесів, що протікають в околі. Поширення реакції у вигляді фронту полімеризації може мати ряд ознак (напрявленість, швидкість поширення тощо), що залежать від конкретних умов. Так, для просторово-зшитих полімерів фронт полімеризації можна надати у вигляді сфери за умови, що збурюючі фактори під час реакції однакові, а молекули олігомера розташовані випадково в макрооб'ємі.

Отримані результати показують, що під впливом ПМП змінюється характер поширення полімеризації у смолі ЕД-16 у процесі тверднення.

У звичайних умовах реакція в полімерах поширюється ізохронно (сферичний фронт полімеризації). При полімеризації в магнітному полі проявляється анізотропія поширення фронту відносно вектора напруженості магнітного поля.

Очевидно, що існує деякий переважаючий напрямок руху фронту полімеризації для відповідної напруженості ПМП. Переміщення зарядів у напрямку, нормальному до вектора \mathbf{H} , пояснюється процесією зарядження частинок навколо вектора напруженості з деякою частотою ω . Площина процесії нормальна до вектора поля, а її напрямок визначається знаком заряду. Ймовірність зшивання макромолекул в цьому напрямку висока. Порівняно з напрямком вектора напруженості ПМП, тобто у фронті полімеризації, виникають напрямки переважаючого поширення реакції, що є причиною виникнення анізотропії об'ємного електричного опору, а також і механічних характеристик.

Висновки

Важливим наслідком отриманих результатів є те, що під час магнітної обробки полімерних матеріалів необхідно враховувати не тільки напрямок, а й величину вектора напруженості ПМП. Наведений спосіб аналітичного розрахунку параметрів поля в робочій зоні магнітних систем підвищує точність визначення напруженості магнітного поля і його розподіл у зразку.

Показано, що механічні характеристики епоксидного полімеру істотно змінюються як у бік збільшення, так і в бік зменшення від властивостей того самого полімеру, не обробленого магнітним полем.

Надмолекулярні структури, що виникають під впливом ПМП, є більш регулярними відносно затверділих без ПМП, в яких процеси мають стохастичний характер. Про це свідчить

зменшення довірчих інтервалів і механічних характеристик на 35–40 %.

Враховуючи результати даного дослідження і попередніх праць [1–4], подальші дослідження в цьому напрямку слід присвятити вивченню впливу однорідного та неоднорідного магнітного полів на адгезійну міцність полімерних композитів.

дження в цьому напрямку слід присвятити вивченню впливу однорідного та неоднорідного магнітного полів на адгезійну міцність полімерних композитів.

Н.М. Зазимко, П.М. Малежик, Т.Г. Сичкар

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ОТВЕРДЕВШИХ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Представлены результаты исследования влияния напряженности и угла направления постоянного магнитного поля при магнитной обработке эпоксидных полимеров на их механические свойства. Показано, что зависимость механических свойств от напряженности ПМП является нелинейной функцией и имеет колебательный квазипериодический характер. Важным следствием полученных результатов есть то, что во время магнитной обработки полимерных материалов необходимо учитывать не только направление, но и величину вектора напряженности поля.

N.M. Zazymko, P.M. Malezhyk, T.G. Sichkar

THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE CONSTANT MAGNETIC FIELD ON ELASTIC PROPERTIES OF SOLIDIFIED EPOXY POLYMERS

We emphasize the research results of the influence of intensity and direction angle of the constant magnetic field (CMF) at magnetic processing of epoxy polymers on their mechanical properties. We illustrate that the dependence of mechanical properties on the CMF intensity is a nonlinear function that has oscillatory quasi-periodic character. Through experiments performed, we point out that both the direction and the CMF intensity of the vector should be considered during magnetic processing of polymeric materials.

1. Молчанов Ю.М., Кисис Э.Р., Родин Ю.П. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле // Механика полимеров. – 1973. – № 4. – С. 737–761.
2. Акутин М.С., Виноградов Г.В., Ярлыков Б.В. и др. Прочность сшитых полимеров при отверждении в магнитном поле // Пластические массы. – 1974. – № 2. – С. 49.
3. Колупаєв Б.С. Розрахунок змін вільної енергії гетерогенних полімерних систем під дією зовнішнього магнітного поля // Фізика конденсованих високомолекулярних систем: Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – Рівне, 1999. – Вип. 7. – С. 3–4.
4. Зазимко Н.М., Шут М.І. Структурні особливості тверднення епоксидного полімеру в постійному магнітному полі // Наукові записки НПУ ім. М.П. Драгоманова. Фіз.-мат. науки. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2003. – № 4. – С. 3–8.
5. Шут М.І., Зазимко Н.М., Сичкар Т.Г. Фізико-механічні властивості епоксидних полімерів, затверджених у постійному магнітному полі // 2-а Міжнар. наук.-техн. конф. “Композиційні матеріали”, 5–6 липня 2001 р.: 36. праць. – К.: НТУУ “КПІ”, 2001. – С. 132.
6. Манько Т.А., Джур Е.А., Санін Ф.П., Ермолаєв І.М. Исследование влияния магнитной обработки на структуру и свойства эпоксирганоластиков // Механика композитных материалов. – 2001. – 37, № 2. – С. 275–280.
7. Зазимко Н.М., Шут М.І., Сичкар Т.Г., Малежик П.М. Вплив постійного магнітного поля на особливості тверднення епоксидних полімерів // Фізика конденсованих високомолекулярних систем: Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – Рівне, 2007. – Вип. 12. – С. 86–89.
8. Бухгольц Г. Расчет электрических и магнитных полей. – М.: ИЛ, 1961. – 424 с.
9. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
10. Фролов Б.В. Исследования магнитного поля кругового контура с помощью скалярного магнитного потенциала // Изв. вузов. Электротехника. – 1966. – № 9. – С. 919–926.
11. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1975. – 264 с.